

CAPITULO IV

COMPONENTES

4.1 INTRODUCCION.

Para poder analizar o diseñar un circuito eléctrico, es necesario que conozcamos las características de los componentes físicos que pueden formar parte de él. El objetivo de este capítulo es estudiar algunos de los componentes más comunes.

En primer lugar, vamos a establecer la diferencia entre parámetro eléctrico y componente circuital (elemento).

Un componente circuital es el elemento físico con el cual contamos para montar un circuito. Ahora bien, todo componente circuital presenta una serie de características eléctricas: Resistencia, capacitancia, inductancia, etc. Estas características eléctricas son los parámetros del componente con el cual contamos.

Por lo tanto, los condensadores, las bobinas (o inductores) y los resistores entre otros, son componentes circuitales, cada uno de los cuales puede representarse mediante parámetros eléctricos (resistencia, capacitancia, inductancia, etc.).

Como ejemplo tenemos que el parámetro que caracteriza una bobina es su inductancia, pero las bobinas están construidas con alambre enrollado, y el alambre presenta una cierta resistencia eléctrica, por lo tanto el modelo circuital de una bobina (componente) puede ser una inductancia (parámetro) en serie con una resistencia (parámetro), como podemos observar en la Figura 1.

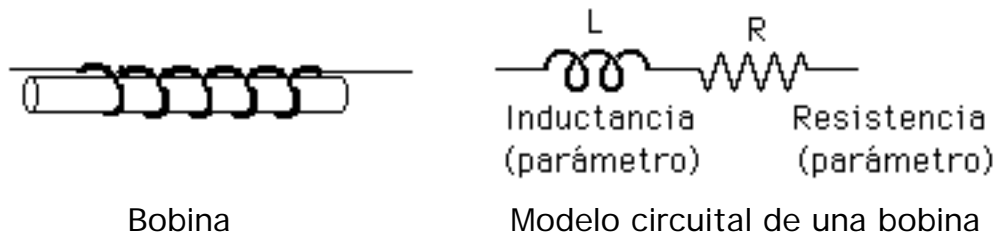


Fig. 1.- Componentes y modelos

A medida que vayamos estudiando cada uno de los componentes físicos, iremos indicando cuál es su modelo circuital (constituido por los parámetros que lo caracterizan) y la justificación de la escogencia de dicho modelo.

Una observación: Aunque el componente circuital que se caracteriza fundamentalmente por su resistencia se debería denominar resistor, es costumbre utilizar la palabra resistencia para referirse también al componente físico.

4.2 CLASIFICACION GENERAL DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS

Los parámetros se clasifican de acuerdo a cuatro aspectos diferentes, a saber:

- Concentrados o distribuidos
- Activos o pasivos
- Variables o invariables con el tiempo
- Lineales o no lineales

4.2.1.- Parámetros Concentrados o Distribuidos.

Un parámetro concentrado es aquél cuyas magnitudes físicas son tales que podemos considerarlo ubicado en un punto del espacio. Por otra parte, un parámetro distribuido es aquél que como su nombre lo indica, se encuentra distribuido en una región del espacio.

Ahora bien, ¿cuál es el criterio que nos permite determinar si tenemos que considerar un parámetro como concentrado o distribuido?. Este criterio es la frecuencia de operación del sistema. Vamos a profundizar un poco sobre este punto.

Consideremos el circuito de prueba de la Figura 2, el cual consta de un generador de funciones y una resistencia.

La fuente de señales sinusoidales produce voltajes alternos, que pueden representarse en función del tiempo como se indica en la Figura 3.



Fig. 2.- Circuito de prueba

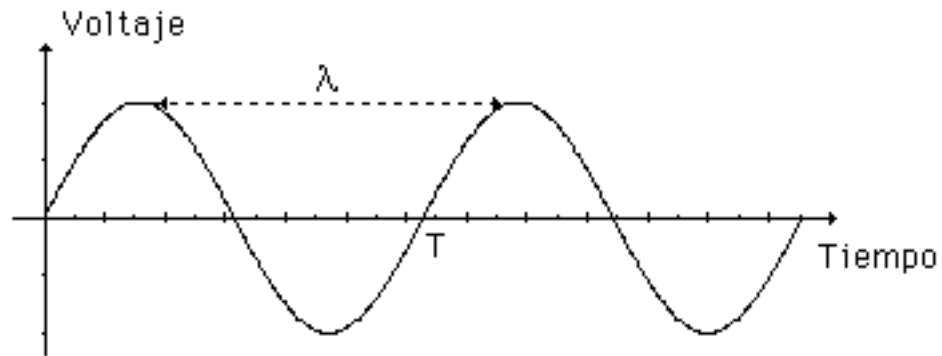


Fig. 3.- Forma de onda de salida del generador de funciones.

En esta onda se define el período (T) como el intervalo de tiempo en que se produce un ciclo, la frecuencia (f) como el inverso del período, y la longitud de onda (λ) como la distancia entre dos puntos que tienen la misma fase. Entre la frecuencia y la longitud de onda hay una relación dada por la siguiente ecuación:

$$v = f \lambda \quad (4.1)$$

donde v es la velocidad con la que viaja la onda. Por lo general, en estos sistemas se puede considerar que la velocidad de propagación es igual o muy similar a la velocidad de la luz (c), por lo tanto:

$$c = f \lambda \quad (4.2)$$

A partir de esta expresión podemos deducir lo siguiente:

Si la frecuencia de la señal de voltaje es igual a 60Hz (frecuencia de operación de la red nacional) la longitud de onda de dicha señal es:

$$= \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{60 \text{ seg}^{-1}} = 5 \times 10^6 \text{ m} = 5000 \text{ Km} \quad (4.3)$$

Por lo tanto, si el circuito presenta una longitud total de medio metro, esta distancia es despreciable frente a los 5000 Km de la longitud de onda, por lo que podemos considerar que la señal eléctrica tiene la misma fase en todos los puntos del circuito, o lo que es equivalente, para los efectos de la señal de voltaje, todo el circuito se encuentra ubicado en el mismo punto del espacio, y en consecuencia todos los parámetros del mismo están concentrados en dicho punto.

Si por el contrario, la frecuencia de la señal de voltaje es muy alta, por ejemplo 30GHz (1GHz= 10^9 Hz), la longitud de onda de dicha señal es:

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{30 \times 10^9 \text{ seg}^{-1}} = 0.01 \text{ m} = 1 \text{ cm} \quad (4.4)$$

Si como en el caso anterior la longitud total del circuito es igual a medio metro, en cada punto del circuito la señal tendrá una fase diferente, y por lo tanto los parámetros del circuito (características de los conductores, resistencia del elemento terminal), tienen que considerarse distribuidos en distintos puntos del espacio, a través del cual está viajando la onda.

El conjunto de leyes y principios que rigen los fenómenos electromagnéticos, entre los cuales se encuentran los que hemos enunciado en los dos ejemplos anteriores, constituye la Teoría Electromagnética. Ahora bien, cuando la magnitud física del sistema donde se estudian los fenómenos es mucho menor que la longitud de onda de los mismos, los principios básicos se pueden simplificar hasta constituir un nuevo conjunto de leyes, que conforman la Teoría de Redes Eléctricas.

En esta última teoría nos basamos para estudiar los circuitos eléctricos, ya que los fenómenos que ocurren en ellos tienen bajas frecuencias. Por lo tanto, los componentes de los circuitos eléctricos son concentrados .

Los sistemas que trabajan a altas frecuencias no se denominan por lo general circuitos eléctricos, sino que reciben nombres particulares, como por ejemplo sistemas de microondas. Como vimos anteriormente, los fenómenos que ocurren en estos sistemas no pueden estudiarse aplicando la Teoría de Redes Eléctricas, sino que en este caso es necesario aplicar a la Teoría Electromagnética en toda su propiedad.

4.2.2.- Parámetros Activos o Pasivos.

Los elementos activos son aquéllos capaces de entregar energía neta al circuito donde están conectados, mientras que los elementos pasivos son aquéllos que reciben energía neta del circuito en el que se encuentran. Si en un momento dado un elemento de los clasificados como pasivos le entrega cierta cantidad de energía al sistema, es porque previamente la recibió y almacenó durante un cierto período de tiempo.

Veamos algunos ejemplos.

En un circuito como el mostrado en la Figura 4, la fuente es un elemento activo, ya que produce el voltaje (V) necesario para que circule una corriente (i). Por otra parte la resistencia es un elemento pasivo que disipa en forma de calor la energía eléctrica que recibe, y el condensador es un elemento pasivo que es capaz de almacenar la energía que recibe.

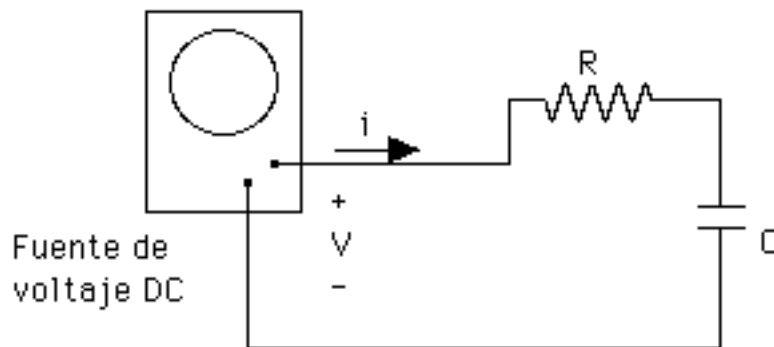


Fig. 4.- Circuito con elementos activos y pasivos.

Si al cabo de cierto tiempo desconectamos la fuente del circuito y colocamos un cable en su lugar, como podemos observar en la Figura 5, debido al voltaje existente entre los extremos del condensador comienza a circular una corriente i_1 por el circuito, y la energía almacenada en el condensador se traspassa a la resistencia, la cual la disipa en forma de calor. En este instante el condensador está entregando energía al circuito, pero esta energía es la que almacenó previamente, mientras estaba conectada la fuente. La cantidad neta de energía en el condensador es cero, por lo tanto este elemento es pasivo .

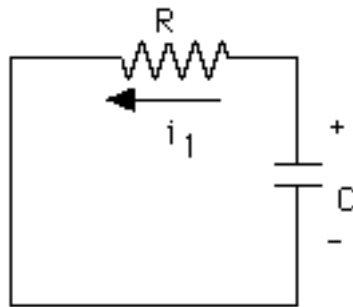


Fig. 5.- Circuito con elementos pasivos

Ahora bien, los elementos activos de unos circuitos pueden ser elementos pasivos de otros. Por ejemplo, en la Figura 4, la fuente DC es el elemento activo del circuito, pero para que esta fuente funcione, es necesario que esté conectada a un sistema externo de alimentación (la línea de 110V, 60Hz). Por lo tanto, para este último sistema, la fuente de voltaje DC es un elemento pasivo que consume energía.

Debemos tener en cuenta que el principio de conservación de la energía postula que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma. Por lo tanto, los elementos activos no generan energía. Su función es transformar otros tipos de energía (química, mecánica, atómica, o eléctrica) en la energía eléctrica apropiada para entregarla al circuito.

4.2.3.- Parámetros Variables o Invariables con el tiempo.

Los parámetros Invariables con el tiempo son aquéllos cuyo valor no cambia con el transcurso del mismo.

Por otra parte, los parámetros Variables con el tiempo son aquéllos que no poseen la propiedad antes enunciada.

Ahora bien, no hay componentes físicos cuyos parámetros no sufran ninguna alteración con el transcurso del tiempo, ya que todos ellos se deterioran en mayor o menor grado en intervalos de tiempo suficientemente grandes. Sin embargo, aquellos elementos que se construyen con el propósito de que tengan un parámetro de valor determinado durante un tiempo suficientemente largo, se consideran como Invariables con el tiempo, mientras que aquéllos que se fabrican de forma que su valor varíe en forma periódica en el tiempo dentro del rango de interés, se clasifican como Variables con el tiempo.

4.2.4.- Parámetros Lineales o No Lineales.

Los elementos Lineales son aquéllos que cumplen con las propiedades de superposición y homogeneidad, mientras que los No Lineales son aquéllos que no poseen estas propiedades.

Repasemos brevemente la definición de las propiedades mencionadas.

Para un elemento dado, al aplicársele una entrada e_1 se obtiene una salida S_1 , y cuando se le aplica una entrada e_2 se obtiene una salida S_2 . El elemento cumple con la propiedad de superposición si al aplicarle una entrada $e = e_1 + e_2$ se obtiene una salida $S = S_1 + S_2$, como está indicado en la Figura 6.

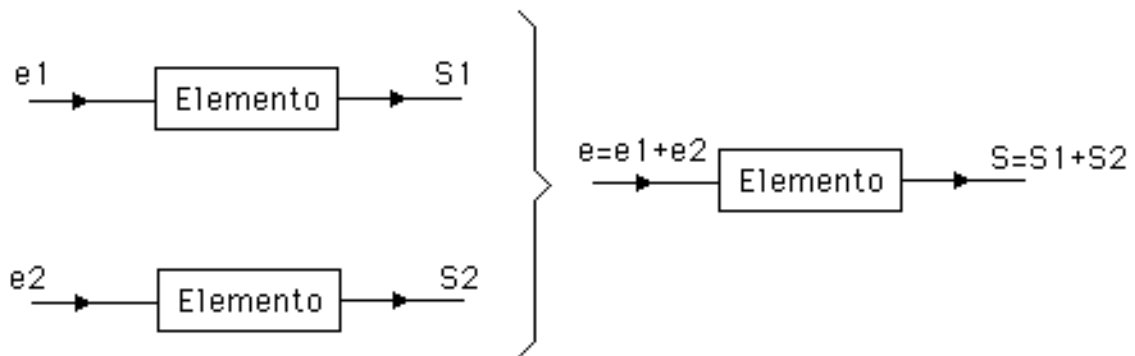


Fig. 6.- Propiedad de Superposición

Por otra parte, dado un elemento cuya salida es S_1 cuando se le aplica una entrada e_1 , el elemento cumple con la propiedad de homogeneidad si al aplicarle una entrada $e = Ke_1$, se obtiene una salida $S = KS_1$, como se indica en la Figura 7.

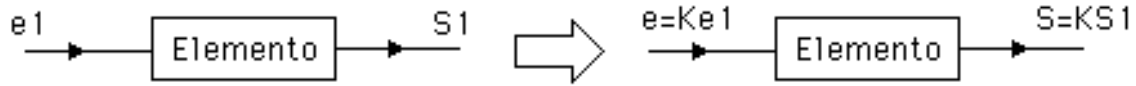


Fig. N° 7.- Propiedad de Homogeneidad

Cuando un elemento cumple con las dos propiedades, se define como Lineal.

Ahora bien, ningún componente físico tiene parámetros que sean realmente lineales. Por ejemplo, si a una resistencia de 1Ω le aplicamos 1mV entre sus terminales, por ella circulará una corriente de 1mA y si le aplicamos 10mV , la corriente será de 10mA , pero si le aplicamos 10.000V la corriente probablemente no será de 10.000A , porque la resistencia se habrá quemado y destruido totalmente.

A pesar de esto, una serie de componentes físicos pueden considerarse lineales dentro del rango de operación en el que interesa utilizarlos, mientras que otros no cuentan con esta propiedad. Debido a esto a los primeros se les clasifica como Lineales y a los últimos como No Lineales.

4.3 COMPONENTES CIRCUITALES MAS USUALES

Los componentes circuitales más usuales son las resistencias, los condensadores y las bobinas o inductores. Los parámetros de todos estos elementos son pasivos, y en principio dadas las frecuencias de operación de los circuitos eléctricos, son concentrados. Por lo general, dichos parámetros pueden considerarse invariables con el tiempo. Por último, la mayoría de los parámetros de los componentes que vamos a estudiar son lineales, aunque vamos a hacer referencia a algunos componentes (bobinas con núcleos ferromagnéticos) que presentan características no lineales.

4.4 RESISTENCIAS.

4.4.1.- Definición.

Una resistencia es un componente circuital cuya principal característica es la de transformar la energía eléctrica que recibe en energía térmica, la cual se disipa por medio de radiación, convección y conducción térmica.

Por lo general, en una resistencia puede considerarse despreciable la energía almacenada en los campos eléctrico y magnético existentes en el elemento.

4.4.2.- Especificaciones

4.4.2.1.- Valor nominal.

El primer dato que necesitamos conocer de una resistencia es el valor de su parámetro R.

En principio, se podrían fabricar resistencias de todos los valores imaginables, pero desde un punto de vista económico esto es imposible. Por lo tanto, los fabricantes se han puesto de acuerdo para producir una serie de resistencias cuyos valores abarquen una gama lo suficientemente grande, y a partir de las cuales se pueda obtener cualquier otro valor realizando combinaciones en serie o paralelo.

En la Tabla 1 se encuentran los valores de las resistencias existentes en el mercado.

10×10^n	18×10^n	33×10^n	56×10^n
11 "	20 "	36 "	62 "
12 "	22 "	39 "	68 "
13 "	24 "	43 "	75 "
15 "	27 "	47 "	82 "
16 "	30 "	51 "	91 "

Tabla 1.- Resistencias comerciales

La variable n que aparece en el factor 10^n puede tomar cualquier valor entero comprendido entre -2 y 6.

Algunas resistencias tienen escrito sobre ellas su valor nominal, como se muestra en la Figura 8.

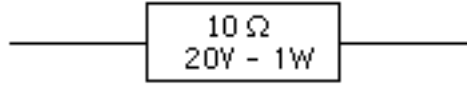


Fig. 8.- Modelo de resistencia

Pero la mayoría de ellas, especialmente las de carbón, que son las más utilizadas en los circuitos electrónicos, tienen indicado su valor nominal mediante un código de colores.

Las resistencias que utilizan este sistema, presentan cuatro bandas de colores, dispuestas en la forma indicada en la Figura 9. Las tres primeras bandas codifican el valor nominal y la cuarta banda representa la tolerancia dentro de la cual puede hallarse el verdadero valor del parámetro del componente.



Fig. 9.- Resistencia codificada con bandas de colores.

Negro	0
Marrón	1
Rojo	2
Anaranjado	3
Amarillo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Gris	8
Blanco	9

Tabla N° 2.- Valor de los colores

En la Tabla 2 podemos observar los colores que pueden tomar las tres primeras bandas y el número que corresponde con cada color.

El conjunto de estas tres bandas define el valor nominal de la resistencia de la siguiente forma: Con las dos primeras se representa uno de los veinticuatro números de dos cifras indicados en la Tabla N° 1, y con la tercera, el exponente de la potencia de 10 por la que hay que multiplicar este número para obtener el valor nominal de la resistencia en ohms.

Por ejemplo, si las tres primeras bandas tienen los colores mostrados en la Figura 10, la resistencia tiene un valor nominal de 10×10^2 o lo que es lo mismo, 1K .

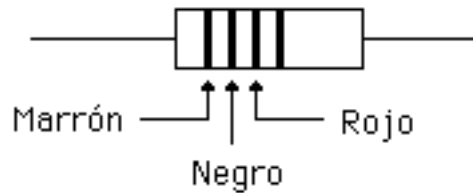


Fig. 10.- Ejemplo del uso del código de colores

En forma similar, los colores de una resistencia de 22 K serían rojo, rojo y anaranjado.

Ahora bien, dijimos que el factor n puede tomar cualquier valor entre -2 y 6, y con la tabla N° 2 podemos codificar los valores comprendidos entre 0 y 9. Para representar los dos valores negativos que puede tomar la tercera banda, utilizamos el código mostrado en la Tabla 3.

Dorado	-1
Plateado	-2

Tabla 3.- Código para valores negativos de la 3ª banda.

Por lo tanto una resistencia cuyas bandas tengan los siguientes colores: rojo, violeta, dorado, poseerá un valor nominal de $27 \times 10^{-1} = 2,7$.

4.4.2.2.- Tolerancia.

Al fabricar las resistencias en una línea de producción no es posible conseguir que todas ellas tengan exactamente el mismo valor. Debido a esto el fabricante indica por una parte cuál es el valor que deberían tener dichas resistencias (valor nominal), y por otra, cuál es el rango de variación alrededor de este valor nominal dentro del cual puede encontrarse el verdadero valor de una resistencia en particular. Este rango de variación se denomina tolerancia y generalmente se especifica como un porcentaje del valor nominal.

Así, si un fabricante indica que una resistencia tiene un valor de 100 Ω con un 5% de tolerancia, el verdadero valor de dicha resistencia está comprendido entre 95 Ω y 105 Ω .

Por lo general, las resistencias de uso común en los circuitos electrónicos (radios, amplificadores, etc.) se fabrican con una tolerancia de 20%, 10% ó 5%. Hay resistencias de semi-precisión que tienen una tolerancia de 1%, y resistencias de precisión (o resistencias patrón) cuya tolerancia es de 0,001% o menor.

Para indicar la tolerancia de una resistencia pueden utilizarse dos métodos: Escribir el valor de dicha tolerancia sobre el material protector que la recubre, al lado del valor nominal, o utilizar la cuarta banda para especificarla mediante un código de colores. En la Tabla 4 se encuentran los colores que puede tomar esta cuarta banda y el significado de cada uno de ellos.

Dorado	5%
Plateado	10%
No hay cuarta banda	20%

Tabla 4.- Colores de la banda de tolerancia

4.4.2.3.- Capacidad de disipación de potencia.

Como dijimos anteriormente en la definición, las resistencias son elementos que se caracterizan por disipar la energía que reciben en forma de calor. Ahora bien, la cantidad de energía por unidad de tiempo (o sea, la potencia) que puede disipar una resistencia depende de las

características del material resistivo, de las propiedades térmicas del material aislante que la recubre, de su tamaño físico y de la temperatura ambiente. Si la potencia suministrada a una resistencia es mayor que la que ésta puede disipar, dicha resistencia se quema y se destruye completamente. Por lo tanto, es necesario que el fabricante especifique cuál es la potencia máxima permisible, o sea, la capacidad de disipación de cada resistencia.

Por lo general, las resistencias utilizadas en circuitos electrónicos tienen capacidades de disipación de 1/8W, 1/4W, 1/2W y 2W. En estas resistencias la capacidad de disipación no está indicada sobre ellas, sino que está dada por su tamaño.

Las resistencias utilizadas en circuitos donde el nivel de potencia es mucho mayor, tienen capacidades de disipación de por ejemplo 10W, 25W, 100W, 225W o mayores. Hay resistencias que pueden disipar varios KW de potencia.

4.4.2.4.- Temperatura de operación.

Como dijimos en el punto anterior, la potencia que puede disipar una resistencia depende de la temperatura ambiente.

Para temperaturas alrededor de los 20° ó 30°, la capacidad de disipación de una resistencia es la que especifica el fabricante como potencia máxima, la cual permanece constante dentro de un rango de temperaturas bastante grande. Pero a partir de un cierto límite, la capacidad de disipación comienza a disminuir proporcionalmente con el aumento de temperatura. La forma de especificar esta variación es utilizar un gráfico como el de la Figura 11.

Este gráfico se interpreta de la siguiente forma: Hasta los 70°C de temperatura ambiente, la resistencia puede disipar la potencia máxima especificada (supongamos por ejemplo 2W). A partir de esta temperatura la capacidad de disipación disminuye, por lo que si se tiene que operar a 100°C, la máxima potencia que puede disipar es el 40% de la inicial (o sea, 0,8W). Al llegar a 120°C la resistencia no puede disipar potencia, por lo tanto, no puede operar con esta temperatura ambiente o con cualquier otra superior a ella.

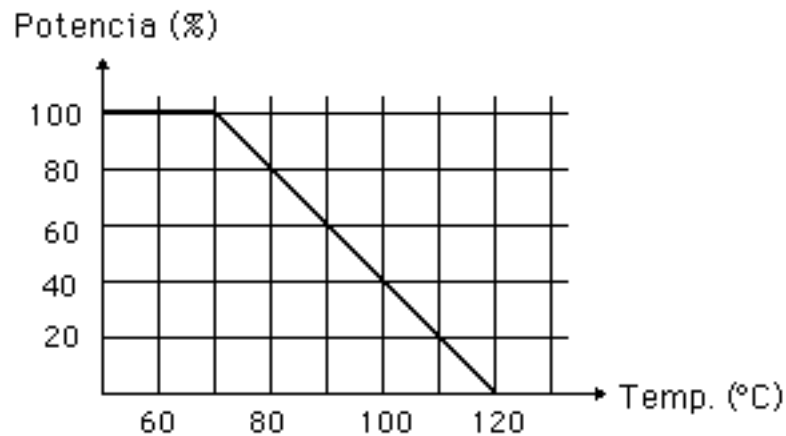


Fig. N° 11.- Variación de la capacidad de disipación de potencia en función de la temperatura.

4.4.2.5.- Coeficiente de Tensión.

Como sabemos, ninguna resistencia real es lineal para todo rango de voltajes y corrientes. Debido a esto en algunos casos los fabricantes especifican un factor denominado coeficiente de tensión, el cual es una indicación de cuánto se aparta una resistencia del modelo lineal. Este coeficiente viene expresado en porcentaje y, está dado por la siguiente relación:

$$C = \frac{R1-R2}{R2} (E1-E2) 100\% \quad (4.5)$$

Donde R1 es el valor de la resistencia medida cuando se le aplica un voltaje E1, y R2 es el valor de la resistencia medida al aplicarle un voltaje E2. Cuanto más se aproxime la resistencia al modelo lineal, menor será este coeficiente de tensión.

4.4.2.6.- Coeficiente de Temperatura.

En un punto anterior vimos que la temperatura ambiente afecta la capacidad de disipación de una resistencia. Ahora bien, las variaciones de la temperatura ambiente pueden afectar otro parámetro de la resistencia: su valor real. Si conocemos el valor real de una resistencia (Ro) a una temperatura dada to y queremos

averiguar el valor real (R_1) a una temperatura t_1 , podemos aplicar la siguiente relación:

$$R_1 = R_0 [1 + a (t - t_0)] \quad (4.6)$$

donde "a" es el coeficiente de temperatura especificado por el fabricante, el cual viene expresado en unidades de $1/^\circ\text{C}$, $1/^\circ\text{K}$ ó $1/^\circ\text{F}$.

Por lo general, este factor es lo suficientemente pequeño para que no sea necesario tomarlo en cuenta en circuitos que no requieran mucha exactitud.

4.4.2.7.- Estabilidad.

Las resistencias reales no son invariables con el tiempo. Su valor puede cambiar aún en condiciones normales de operación, por lo tanto el fabricante puede especificar cual es el porcentaje de variación por unidad de tiempo bajo dichas condiciones normales de operación.

4.4.2.8.- Frecuencia de operación.

Al definir la resistencia indicamos que por lo general para este componente puede considerarse despreciable la energía almacenada en los campos eléctricos y magnético. Esto significa que el modelo circuital de una resistencia real lo podemos reducir a una resistencia cuyo valor sea el del elemento real, como se indica en la Figura 12.



Fig. 12.- Resistencia real y modelo circuital

Ahora bien, debido a su construcción las resistencias presentan ciertas capacitancias y ciertas inductancias. Por ejemplo, una resistencia construida con alambre como la mostrada en la Figura 13, además de poseer resistencia propia, presenta una cierta inductancia debido a que el alambre esta enrollado alrededor de un núcleo.



Fig. 13.- Resistencia de alambre

El valor de esta inductancia va a ser muy pequeño (porque las espiras están muy separadas unas de otras), pero existe. De la misma forma entre espira y espira existe también una cierta capacitancia, cuya magnitud es por lo general muy pequeña. Ahora bien, si queremos representar la resistencia mediante un modelo mucho más exacto, debemos utilizar el presentado en la Figura 14.

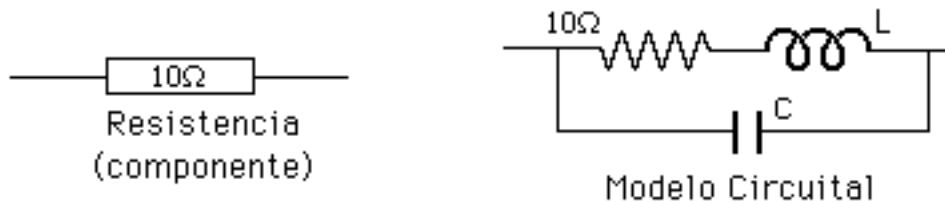


Fig. N° 14.-Modelo completo de una resistencia

Como hemos dicho, los valores de L y C son muy pequeños (del orden de los μH y pF respectivamente, donde $1\mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$ y $1\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$) por lo tanto, cuando la frecuencia a la cual se está trabajando en el circuito donde se encuentra la resistencia es baja (del orden de hasta las decenas de KHz) podemos emplear el modelo circuitual de la figura N° 12, porque la impedancia producida por la inductancia L se aproxima a cero, y la producida por la capacitancia C se aproxima a infinito.

Pero a medida que aumenta la frecuencia de operación del circuito, es necesario considerar el empleo del modelo de la figura N° 14, ya que la primera impedancia aumenta su valor mientras que la segunda lo disminuye, hasta que las magnitudes de las mismas son comparables con la de la resistencia.

Debido a esto es necesario que el fabricante especifique el valor de las inductancias y capacitancias de alguna forma (numéricamente, mediante gráficas de impedancia contra frecuencia, etc.) para que podamos determinar en que forma afecta la frecuencia de operación el valor de la resistencia.

4.4.2.9.- Vida de almacenamiento.

Como vimos en el punto 4.2.2.7, las resistencias varían con el tiempo bajo condiciones normales de operación. Ahora bien, estos elementos pueden sufrir variaciones a lo largo del tiempo, aún cuando no se encuentren operando en un circuito, sino que simplemente estén almacenadas. El fabricante especifica un porcentaje de variación por año de almacenamiento.

4.4.2.10.- Característica de humedad.

Generalmente, las resistencias tienen un material de aislamiento que las protegen de la humedad. Para indicar su resistencia frente a este agente físico el fabricante les asigna los símbolos H_1 , H_2 ó H_3 según si han resistido las pruebas de 84, 14 ó 7 días de exposición continua a la humedad.

4.4.3.- Clasificación.

Esta clasificación se realiza de acuerdo a los elementos utilizados en la fabricación de las resistencias.

4.4.3.1.- Resistencias de Carbón.

Estas resistencias se fabrican con una pieza de carbón de forma cilíndrica a la que se le colocan dos terminales metálicos y luego se recubre con un material aislante. La forma definitiva de la resistencia se le da a base de moldeado, que puede realizarse en frío o en caliente. La Figura 15 presenta un diagrama esquemático de este tipo de resistencia, que es el más antiguo y el de más bajo costo.

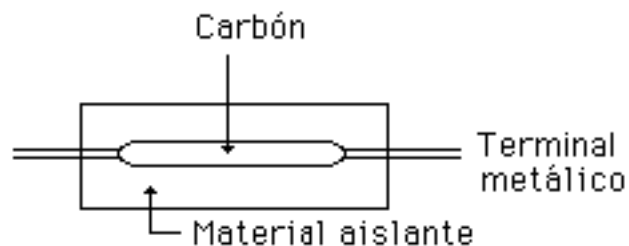


Fig. N° 15.- Resistencia de carbón

4.4.3.2.- Resistencias de Capa Delgada.

Se fabrican depositando una fina capa de material resistivo (que puede ser carbón, metal o una aleación) sobre un cilindro de cerámica y se recubren con un material protector. El espesor de la capa depositada puede estar comprendido entre 0,05 y $2,54 \times 10^{-5}$ mm, por lo que se necesitan una serie de técnicas especiales para poder llevar a cabo esta deposición.

Al realizar este proceso se obtienen resistencias cuyo orden de magnitud alcanza hasta los cientos de ohmios. Para poder obtener resistencias de mayor valor se realiza un corte en espiral a lo largo del cilindro utilizando una punta de diamante. Si la longitud de este corte está bien controlada, pueden fabricarse resistencias cuyo margen de tolerancia sea muy bajo. La Figura 16 presenta un diagrama esquemático de este tipo de resistencias.

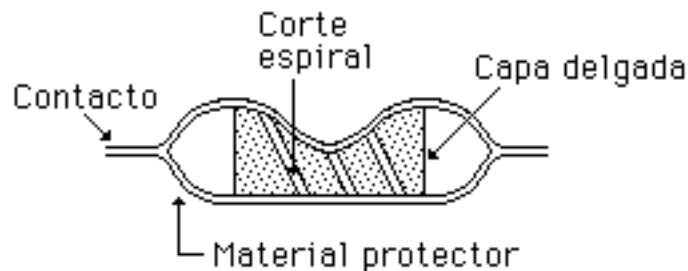


Fig. 16.- Resistencia de capa delgada

4.4.3.3.- Resistencias de Alambre.

Como puede observarse en la Figura 17, están fabricadas con un alambre, el cual generalmente se encuentra enrollado sobre un cilindro de cerámica y recubierto por un material protector.

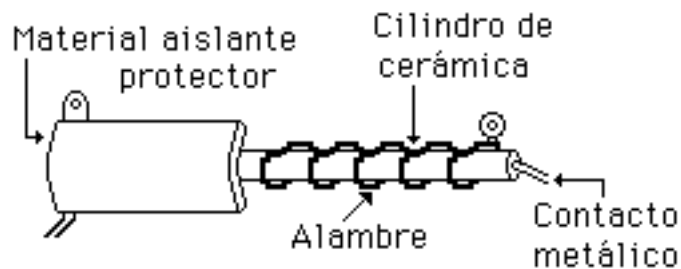


Fig. 17.- Resistencia de Alambre

Generalmente, el valor de estas resistencias presenta gran exactitud y su capacidad de disipación de potencia es mayor que la de las resistencias de carbón, pero su tamaño físico es también mayor, lo cual en algunos casos constituye una desventaja.

4.4.3.3.- Resistencias de Capa gruesa.

El proceso de fabricación de estas resistencias es similar al de las de capa delgada, con la diferencia de que el espesor de la capa en este caso es mayor de $2,54 \times 10^{-5}$ mm. Tienen varias ventajas sobre las anteriores, ya que son más resistentes tanto desde el punto de vista mecánico como químico, debido a lo cual se puede reducir el espesor del material protector que las debe recubrir. Además presentan gran estabilidad, gran capacidad de disipación y su costo es comparable al de las resistencias de carbón.

Existen otros tipos de resistencias que sólo vamos a enumerar en este capítulo. Entre ellas se encuentran las de metal-vidrio, las de característica curva, las de atmósfera gaseosa, los discos metálicos y de carbón para los cables coaxiales, las franjas resistivas para las guías de onda, etc.

4.5 CONDENSADORES.

4.5.1.- Definición.

Un condensador es un componente circuital cuya principal característica es la de almacenar en el campo eléctrico existente en él, la energía que recibe del circuito donde está conectado.

En este elemento puede considerarse despreciable la energía almacenada en el campo magnético, y por lo general la energía disipada en forma de calor.

Básicamente un condensador consta de dos placas conductoras extensas (electrodos) entre las cuales se encuentra un material dieléctrico, como podemos observar en la Figura 18.

Al aplicar una diferencia de potencial entre las dos placas, se crea un campo eléctrico entre ellas.

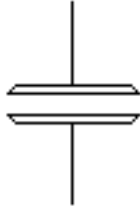


Fig. N° 18.- Estructura de un Condensador

Como veremos más adelante, podemos clasificar los condensadores según el tipo de material dieléctrico utilizado en su construcción.

4.5.2.- Especificaciones.

4.5.2.1.- Valor nominal.

Al igual que con las resistencias, el primer parámetro que nos interesa conocer de un condensador es el valor de su capacitancia. Por lo general, el fabricante especifica este valor bien escribiéndolo sobre el componente o empleando un código de colores similar al de las resistencias.

3.3	30	200	560	2200
5.0	39	220	600	2500
6.0	47	240	680	2700
6.8	50	250	750	3000
7.5	51	270	800	3300
8.0	56	300	820	3900
10	68	330	910	4000
12	75	350	1000	4300
15	82	360	1200	4700
18	91	390	1300	5000
20	100	400	1500	5600
22	120	470	1600	6800
24	130	500	1800	7500
25	150	510	2000	8200

Tabla 6.- Valores nominales para condensadores cerámicos (pF)

En la Tablas 6, 7 y 8 están tabulados algunos de los valores nominales de tres tipos de condensadores existentes en el mercado.

0.00047	0.00082	0.0015	0.0029
0.00056	0.0010	0.0018	0.0033
0.00068	0.0012	0.0022	0.0039

Tabla 7.- Valores nominales para condensadores de tantalio (μF)

1.0	22	250	1500
2.2	47	470	2200
4.7	100	500	4700
10	220	1000	10000

Tabla 8.- Valores nominales para condensadores electrolíticos (μF)

4.5.2.2.- Tolerancia.

Al igual que en las resistencias, el fabricante especifica el rango de valores alrededor del valor nominal dentro del cual puede hallarse el valor real del condensador.

Por ejemplo, tanto los condensadores de la tabla 6 como los de la 7 tienen por lo general una tolerancia del 10%.

4.5.2.3.- Voltaje máximo entre los terminales.

Los materiales dieléctricos con los cuales están contruidos los condensadores pueden soportar cierta diferencia de potencial entre sus extremos. Si el voltaje aplicado es superior al máximo soportable, el dieléctrico se destruye, por lo tanto, es necesario que el fabricante especifique el voltaje máximo al que puede operar cada condensador. (Haciendo una analogía con las resistencias, especificar el voltaje máximo de un condensador es equivalente a especificar la potencia máxima de una resistencia. Si en cualquier caso se exceden las limitaciones indicadas por el fabricante, el componente se destruye).

4.5.2.4.- Resistencia asociada.

Los materiales dieléctricos que constituyen los condensadores no son aislantes perfectos, es decir, presentan cierta conductividad, por lo tanto por ellos circula cierta cantidad de corriente, la cual produce pérdidas. En otras palabras, el condensador no almacena toda la energía que recibe, sino que parte de la misma la disipa en forma de calor. Debido a esto el modelo circuital de un condensador es el presentado en la Figura 19.

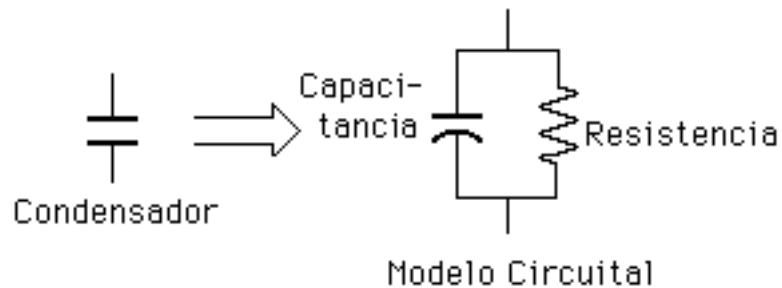


Fig. 19.- Modelo para un Condensador

La resistencia R representa las pérdidas existentes debido a que el dieléctrico no es perfecto.

Por lo general, el valor de esta resistencia es elevado (del orden de los cientos de K).

Además de los parámetros ya mencionados, el fabricante también especifica para estos componentes el rango de temperatura de operación, la estabilidad, la vida de almacenamiento, etc.

4.5.3.- Clasificación.

4.5.3.1.- Condensador con dieléctrico de aire.

Este tipo de condensadores se utiliza cuando se necesitan condensadores variables, como por ejemplo en el circuito de sintonización de un radio. (Figura 20). Los valores de capacitancia que se pueden conseguir con este dieléctrico son pequeños (del orden de las decenas o centenas de pF).

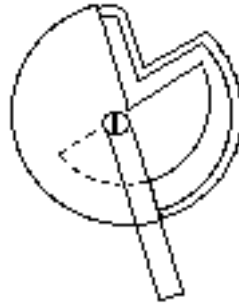


Fig. 20.- Capacitor variable con dieléctrico de aire

4.5.3.2.- Condensadores de mica.

La mica es un material que presenta bajas pérdidas, gran estabilidad y una rigidez eléctrica elevada, lo cual la convierte en un elemento ideal para ser utilizado como dieléctrico de un condensador, pero tiene la desventaja de que es muy costosa, y por lo tanto su uso es muy limitado. Los condensadores de mica se emplean en circuitos resonantes donde se requiere un condensador estable y de bajas pérdidas. La constante dieléctrica de este material es 7,5. La Figura 21 presenta la estructura de este tipo de condensadores.

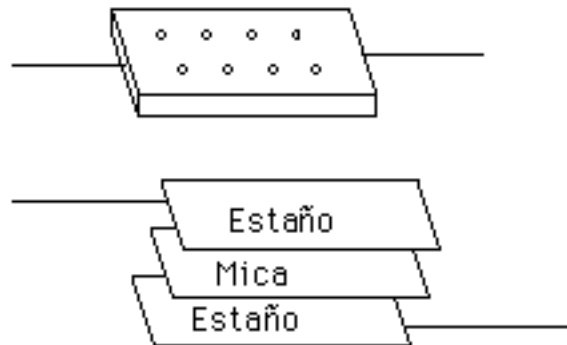


Fig. 21.- Condensador de mica

También se fabrican condensadores con las mismas características que los de mica, pero empleando cera o vidrio como material dieléctrico. Las constantes dieléctricas de estos elementos son 3 y 7,6 respectivamente.

4.5.3.3.- Condensadores de papel.

El dieléctrico utilizado en este tipo de condensadores es papel encerado, cuya constante dieléctrica es igual a 4, y los electrodos pueden ser o bien de papel de aluminio o bien estar constituidos por aluminio depositado directamente sobre el papel. En ambos casos todo el conjunto se enrolla para formar un paquete que es tratado al vacío, impregnando con aceite o cera y sellado, para que no lo afecte la humedad (Figura 22).

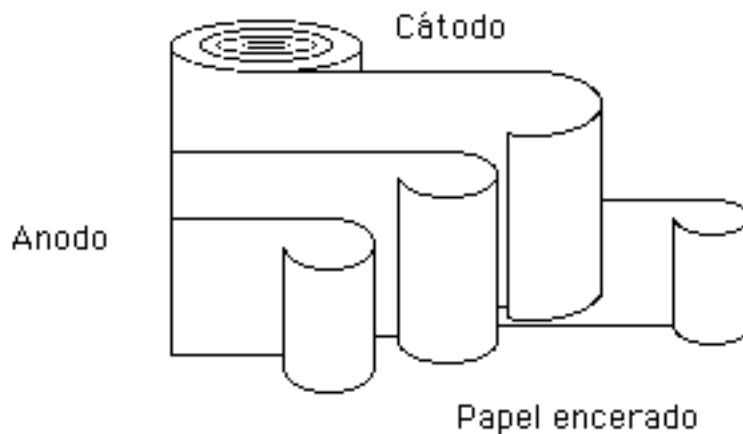


Fig. 22.- Condensador de papel

4.5.3.4.- Condensadores de plástico.

Las características constructivas de estos condensadores son similares a las de los anteriores, con la diferencia de que en este caso el dieléctrico es polietileno, cuya constante dieléctrica es igual a 3. Este material presenta pocas pérdidas eléctricas y su costo es bajo, debido a lo cual los condensadores de plástico son muy comunes en los circuitos electrónicos.

4.5.3.5.- Condensadores de cerámica.

Este material presenta una constante dieléctrica que puede estar comprendida entre 2 y 10.000, por lo tanto pueden fabricarse con él condensadores de valores muy variados, pero tiene la desventaja de presentar varias restricciones en cuanto a voltaje máximo que puede soportar, temperatura máxima, frecuencia máxima, etc.

4.5.3.6.- Condensadores electrolíticos.

El diseño de estos condensadores se basa en el hecho de que algunos metales, cuando se sumergen en una solución adecuada y se hace circular corriente continua entre ellos a través de la solución, forman una capa aislante delgada a su alrededor (proceso que se conoce con el nombre de anodización). Esta capa presenta una capacidad muy grande por unidad de superficie y es capaz de soportar un voltaje considerable, con tal de que la polaridad del mismo sea igual al del utilizado en su proceso de fabricación. Estos condensadores tienen indicada en sus terminales la polaridad a la que deben conectarse circuitalmente, y no puede variarse dicha polaridad sin dañarlos irremisiblemente. Por lo tanto si estos condensadores tienen que conectarse entre dos puntas donde el voltaje conste de una componente continua y una alterna, el valor de ambas debe ser tal que nunca varíe la polaridad del voltaje total, como se muestra en la Figura 23.

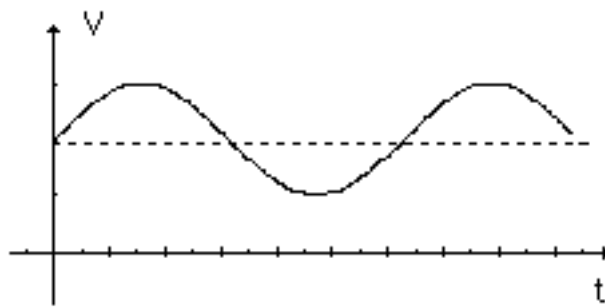


Fig. 23.- Forma de onda de voltaje unipolar

Los detalles de fabricación de estos condensadores pueden variar de uno a otro, pero en general los electrodos son de papel de aluminio y entre ambos se encuentra un papel o gasa impregnado de la sustancia electrolítica. Todo el conjunto se enrolla y se introduce en un tubo de cartón.

Los condensadores electrolíticos presentan pérdidas relativamente muy altas y son inestables con respecto a las variaciones de tiempo, frecuencia y temperatura. Sin embargo, son los más utilizados debido a su pequeño tamaño.

4.6 BOBINAS O INDUCTORES.

4.6.1.- Definición.

Una bobina es un componente circuital cuya principal característica es almacenar en el campo magnético existente en él, la energía que recibe del circuito donde está conectado.

En este elemento hay que tomar en cuenta la energía disipada en forma de calor, pero por lo general la energía almacenada en el campo eléctrico puede considerarse despreciable.

Las bobinas están constituidas por un alambre enrollado alrededor de un núcleo, que puede ser o no un material ferromagnético, como se indica en la Figura 24.

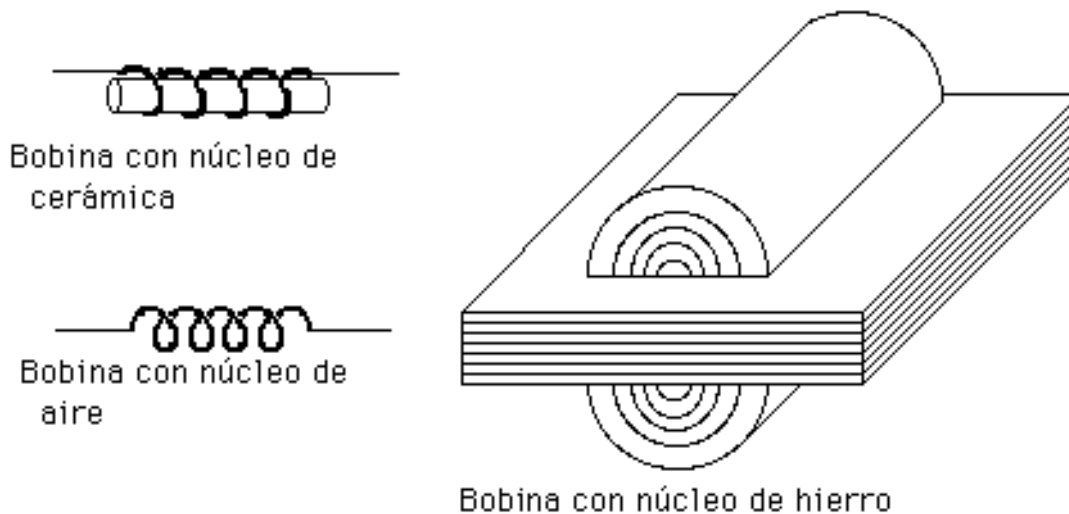


Fig. 24.- Tipos de bobinas

Al circular corriente por cada una de las espiras se crea un campo magnético, cuya intensidad es mayor dentro de los arrollados.

Ahora bien, las propiedades de una bobina pueden cambiar según si el material con el cual está elaborado el núcleo es ferromagnético o no.

Si dicho material no es ferromagnético, la característica de la bobina de flujo magnético contra corriente es aproximadamente lineal ya que puede representarse mediante la gráfica de la Figura 25.

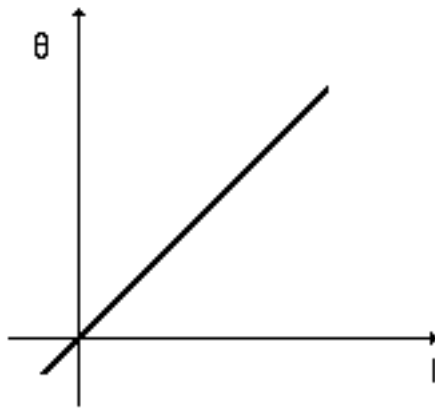


Fig. 25.- Característica de una bobina con núcleo no ferromagnético

Pero si el núcleo es ferromagnético , la característica de flujo magnético contra corriente en el inductor es no lineal , ya que presenta la forma mostrada en la Figura 26. Esta característica recibe el nombre de ciclo de histéresis . La explicación física del fenómeno que ocurre debido a la presencia del material ferromagnético, es la siguiente:

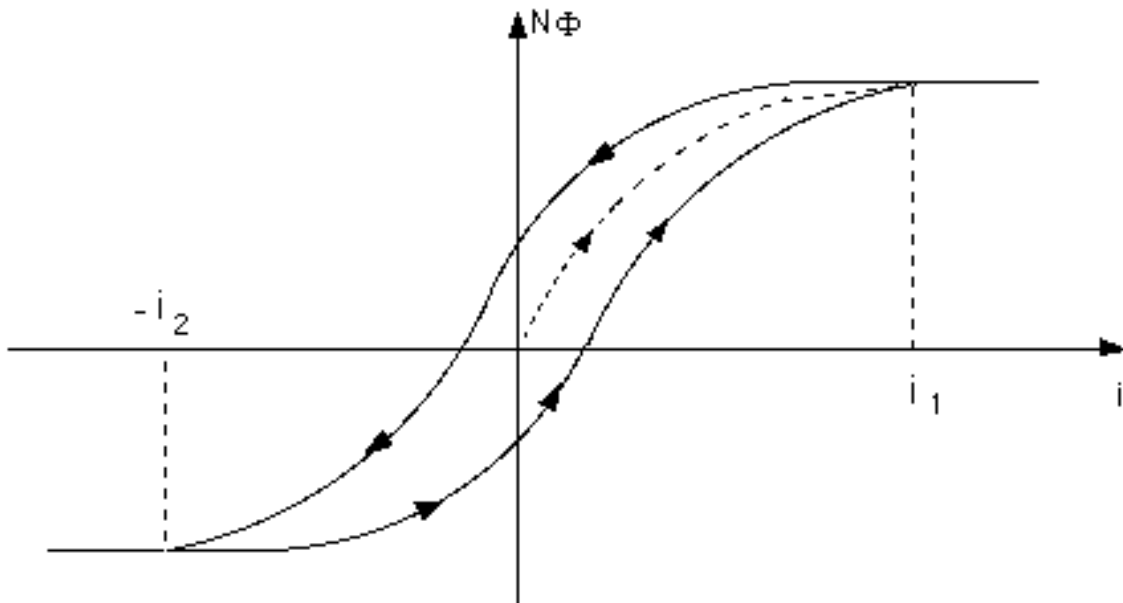


Fig. 26.- Característica de una bobina con núcleo ferromagnético
Ciclo de Histéresis

Cuando comienza a circular corriente por la bobina y el valor de dicha corriente aumenta en el sentido positivo, la magnitud del flujo magnético aumenta (línea ascendente punteada), hasta que para una corriente i_1 el flujo magnético satura, permaneciendo en un valor constante aunque se siga incrementando la corriente.

Si la corriente comienza a disminuir por debajo del valor i_1 , el flujo también disminuye, pero como podemos observar en la figura anterior, lo hace siguiendo una curva diferente a la inicial ya que existe un flujo remanente, cuya magnitud se pone claramente en evidencia cuando la corriente es nula. El material ferromagnético se comporta como un imán permanente, y por lo tanto tiene cierto campo magnético sin necesidad de que circule corriente por la bobina.

Si a continuación se aplican valores negativos de corriente, el material ferromagnético se desmagnetiza completamente (el flujo se anula), después de lo cual la magnitud del flujo comienza a aumentar en sentido contrario hasta un punto, correspondiente a la corriente $-i_2$, en el que nuevamente satura.

Haciendo disminuir la magnitud de la corriente en sentido negativo y aumentándola en el positivo se completa el ciclo (línea continua), que se repetirá cíclicamente al variar la corriente.

4.6.2.- Especificaciones.

4.6.2.1.- Valor nominal y tolerancia.

El fabricante debe especificar en primer lugar el valor nominal de la bobina y su tolerancia, como lo hace con las resistencias y los condensadores. Para este tipo de componentes no existe ningún código de colores, por lo que el valor se indica numéricamente sobre el elemento o se incluye en una tabla o en un manual.

4.6.2.2.- Resistencia interna.

El alambre con el cual está construida la bobina presenta una cierta resistencia cuyo valor es necesario conocer, ya que puede tener gran influencia en el circuito donde se ponga a operar la bobina. Por lo general, el fabricante especifica este valor en la tabla de características del componente en cuestión.

4.6.2.3.- Corriente máxima.

Debido a la resistencia interna, la bobina disipa cierta cantidad de potencia en forma de calor. Ahora bien, como para toda resistencia, esta cantidad de potencia disipada tiene un máximo que es necesario especificar. Por lo general, para este tipo de componente no se especifica directamente la potencia, sino que se indica la corriente máxima (DC) que puede circular, la cual produce dicha disipación máxima. Para las bobinas de núcleo ferromagnético, se especifica la corriente para la cual el flujo magnético satura.

4.6.2.4.- Frecuencia de operación.

Como hemos dicho, las bobinas están construidas con alambres enrollados sobre un núcleo. Ahora bien, entre espira y espira existe una cierta capacitancia (ya que se encuentran dos conductores separados por un dieléctrico). Por lo tanto, para representar todos los efectos mencionados, podemos usar el modelo circuital presentado en la Figura 27.

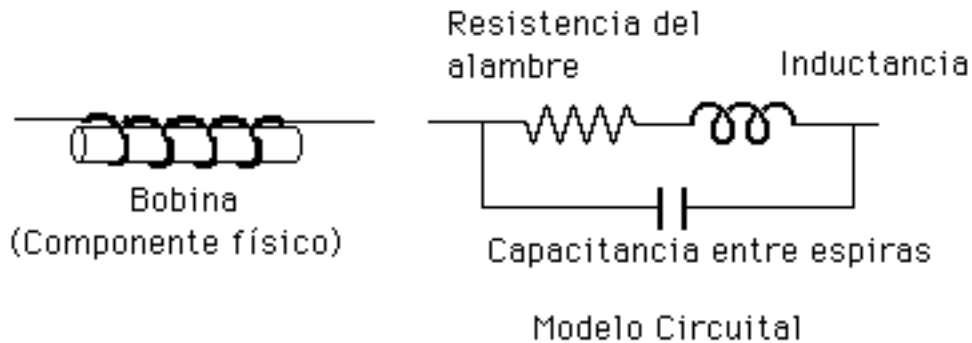


Fig. N° 27.- Modelo de una bobina

El valor de la capacitancia es lo suficientemente pequeño para que no sea necesario tomarlo en cuenta a bajas frecuencias (la energía almacenada en el campo eléctrico a dichas frecuencias es despreciable). Pero a medida que aumenta la frecuencia de operación, la impedancia debida a esta capacitancia se va haciendo cada vez menor, mientras que la impedancia de la inductancia aumenta, hasta que para una cierta frecuencia ambas impedancias son iguales. Dicha frecuencia se conoce con el nombre de frecuencia de resonancia de la bobina.